

5. Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г., Арсланова С.Н. Волновая коагуляция полидисперсной газозвеси в технологии газификации и криостатирования сжиженного природного газа. // Акустический журнал. 2016. Т.62. №1. С. 125-131.

6. Губайдуллин Д.А., Тукмаков Д.А. Численное исследование эволюции ударной

волны в газозвеси с учётом неравномерного распределения частиц // Математическое моделирование. 2014. Т. 26. № 10. С. 109-119.

7. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия. Ленинградское отделение. 1982. 496 с.

УДК 621.787:539.319

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА МНОГОЦИКЛОВУЮ УСТАЛОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

©2016 В.Ф. Павлов, В.К. Шадрин, А.С. Букатый, В.Э. Костичев, С.А. Михалкина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE ESTIMATION OF THE SURFACE HARDENING INFLUENCE ON THE PARTS MULTI CYCLIC FATIGUE

Pavlov V.F., Shadrin V.K., Bukatyi A.S., Kostichev V.E., Mihalkina S.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

It's been established that the average integral residual stresses through the surface layer thickness that equal the critical depth of the non-propagating fatigue crack criterion is most acceptable for the estimation of the surface hardening influence on the endurance limit.

После упрочнения в поверхностном слое деталей изменяется структура, возникают наклёп и сжимающие остаточные напряжения. Основную роль в повышении сопротивления усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений играют сжимающие остаточные напряжения. Для оценки влияния поверхностного упрочнения на многоцикловую усталость деталей используются два критерия. Первым критерием являются остаточные напряжения на поверхности концентратора. Зависимость для определения приращения предела выносливости $\Delta P_R(\Delta\sigma_R, \Delta\tau_R)$ упрочнённой детали в этом случае имеет вид

$$\Delta P_R = \psi_P \cdot |\sigma_z^{nos}|, \quad (1)$$

где $\psi_P(\psi_\sigma, \psi_\tau)$ – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию σ_z^{nos} , σ_z^{nos} – осевые (меридиональные) остаточные напряжения на поверхности концентратора опасного сечения детали.

На практике при упрочнении деталей часто наблюдается подповерхностный максимум сжимающих остаточных напряжений,

то есть к поверхности деталей напряжения уменьшаются. Этот спад бывает весьма существенным, иногда остаточные напряжения снижаются к поверхности до нуля и даже становятся растягивающими, однако увеличение предела выносливости наблюдается и в этих случаях. Поэтому критерий оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости деталей должен базироваться на учёте остаточных напряжений не только на поверхности, но и по толщине поверхностного слоя опасного сечения деталей.

Для определения второго критерия в работе [1] использовалось решение задачи [2] о дополнительных остаточных напряжениях в наименьшем сечении поверхностно упрочнённой детали после нанесения на неё надреза полуэллиптического профиля. Выделив основную часть решения [2], был получен второй критерий $\bar{\sigma}_{ocm}$ – критерий среднеинтегральных остаточных напряжений – влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости детали в виде

$$\bar{\sigma}_{ocm} = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi, \quad (2)$$

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в опасном сечении детали, $\xi = y/t_{кр}$ – расстояние от поверхности опасного сечения до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$, $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе упрочнённой детали на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости ΔP_R детали за счёт упрочнения при использовании критерия $\bar{\sigma}_{ост}$ определяется по следующей формуле:

$$\Delta P_R = \bar{\psi}_p \cdot |\bar{\sigma}_{ост}|, \quad (3)$$

где $\bar{\psi}_p$ ($\bar{\psi}_\sigma, \bar{\psi}_\tau$) – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$.

В [3] по результатам большого числа экспериментов установлено:

1. Для исследованных видов поверхностного упрочнения (гидро- и пневмодробеструйная обработка, обкатка роликом, алмазное выглаживание, обработка микрошариками, азотирование, цементация, борирование) различных материалов (стали, сплавы на основе никеля, титана и алюминия), степеней равномерного и неравномерного наклёпа, величин (-29 – -2200 МПа) и характера распределения сжимающих остаточных напряжений, типов концентраторов, поперечных размеров деталей критерий среднеинтегральных остаточных напряжений хорошо отражает связь между остаточными напряжениями и приращением предела выносливости.

2. Критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости в опасном сечении упрочнённых деталей с концентраторами напряжений определяется только размерами поперечного сечения и не зависит от вида поверхностного упрочнения, материала, последовательности изготовления и упрочнения концентратора, наклёпа, вида и размеров концентратора, величины сжимающих остаточных напряжений, типа деформации и асимметрии цикла напряжений.

3. Коэффициент $\bar{\psi}_p$ влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений зависит от типа деформации (изгиб, растяжение-сжатие и кручение), асимметрии цикла и степени концентрации напряжений. По результатам исследования разработаны методики учёта влияния этих факторов при определении коэффициента $\bar{\psi}_p$.

4. Критерий среднеинтегральных остаточных напряжений может быть использован и в случае работы детали при повышенной температуре, но при этом в расчёт необходимо брать остаточные напряжения детали в конце её ресурса, то есть с учётом релаксации. Эти напряжения можно определить путём термоэкспозиции.

5. Прогнозирование предела выносливости упрочнённых деталей по величине сжимающих остаточных напряжений на поверхности опасного сечения не представляется возможным, так как соответствующий коэффициент влияния ψ_p в проведённых экспериментах при симметричном цикле изменяется в широких пределах – до 38 раз.

Библиографический список

1. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений. / Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
2. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом. / Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып.1. – С. 88-95.
3. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Вакулюк В.С. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям. Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.